1. 期末考试范围

光学（一道计算题）

热学（气体动理论、热力学）

量子物理

2. 成绩考核：期末考试：50%;

月考1：20%；月考2：20%;

平时成绩：10%

Chap12、13 热学

气体动理论

理想气体物态方程

$pV = \nu RT$

$p = nkT$

理想气体压强

$$p = \frac{2}{3} n \bar{\varepsilon}_k$$

速率分布

$$f(v) = \frac{1}{N}\frac{dN}{dv}$$

温度公式

$$\bar{\varepsilon}_k = \frac{3}{2}kT$$

方均根速率

$$\sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

平均速率

$$\sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$$

最概然速率

$$\sqrt{\frac{2kT}{m}}$$

能量均分定理

$$\bar{\varepsilon} = \frac{i}{2}kT$$

理想气体内能

$$E = \nu \frac{i}{2} RT$$

平均碰撞频率

$$\bar{Z} = \sqrt{2}\,\pi d^2 \bar{v} n$$

平均自由程

$$\bar{\lambda} = \frac{\bar{v}}{\bar{z}} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}$$

热力学

热一律

准静态过程：

等体过程

等压过程

等温过程

绝热过程

多方过程

$$\Delta E = \nu C_{V,m} \Delta T$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p\,dV$$

$$C_{p,m} = C_{V,m} + R$$

$$\gamma = \frac{C_{p,m}}{C_{V,m}} = \frac{i+2}{i}$$

$$Q = \nu C_m \Delta T$$

循环过程

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$e = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

卡诺循环

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$e = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

热二律

可逆过程与不可逆过程

统计意义

卡诺定理

$$\eta \le \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

熵增加原理

$$\Delta S = \int_A^B \frac{dQ}{T} \ge 0$$

玻尔兹曼公式

$$S = k \ln W$$

气体动理论小结

1. 几个基本参量

1）摩尔气体常量 $R = 8.31\,\mathrm{J\cdot mol^{-1}\cdot K^{-1}}$

2）阿伏加德罗常数 $N_\mathrm{A} = 6.02\times10^{23}\ \mathrm{mol^{-1}}$

3）玻耳兹曼常量 $k = R/N_\mathrm{A} = 1.38\times10^{-23}\ \mathrm{J\cdot K^{-1}}$

4）物质的量（摩尔数）$\nu = m'/M = N/N_A = pV/RT$

5）分子质量 $m = m'/N = M/N_A$

6）分子数密度 $\boldsymbol{n = N/V = p/kT}$

7）质量密度 $\rho = m'/V = nm = pM/RT$

2. 一个物态方程

$$\begin{cases} pV = \nu RT \\ p = nkT \end{cases}$$

3. 两个分布律

$$f(v) = 4\pi\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} v^2$$

$$dN = n_0\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} e^{-\frac{\varepsilon_k+\varepsilon_p}{kT}} dv_x dv_y dv_z dx dy dz$$

$$\boxed{f(v) = \frac{1}{N}\frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}v}}$$

$$\boxed{\frac{\mathrm{d}N}{N} = f(v)\mathrm{d}v = \mathrm{d}S}$$

$$\boxed{\int_0^{\infty} f(v)\mathrm{d}v = 1}$$

$$\boxed{\bar{v} = \int_0^{\infty} v f(v) dv}$$

$$n = n_0 e^{-mgz/kT}$$

4. 三种统计速率

1）最概然速率 $v_{\mathrm{p}} = \sqrt{\dfrac{2kT}{m}} = \sqrt{\dfrac{2RT}{M}} \approx 1.41\sqrt{\dfrac{RT}{M}}$

2）平均速率 $\overline{v} = \sqrt{\dfrac{8kT}{\pi m}} = \sqrt{\dfrac{8RT}{\pi M}} \approx 1.60\sqrt{\dfrac{RT}{M}}$

3）方均根速率 $\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\dfrac{3kT}{m}} = \sqrt{\dfrac{3RT}{M}} \approx 1.73\sqrt{\dfrac{RT}{M}}$

5. 四个统计规律

1）压强公式 $p = \dfrac{1}{3}nm\overline{v^2} = \dfrac{2}{3}n\bar{\varepsilon}_{\mathrm{k}}$

2）温度公式 $\bar{\varepsilon}_{\mathrm{k}} = \dfrac{3}{2}kT$

3）能量均分定理

分子的平均能量 $\bar{\varepsilon}=\frac{i}{2}kT$

理想气体的内能 $E=\nu\frac{i}{2}RT$

	自由度				$\bar{\varepsilon}$
	平动	转动	振动	i	
单原子分子	**3**	**0**	**0**	**3**	**3*kT*/2**
刚性双原子分子	**3**	**2**	**0**	**5**	**5*kT*/2**
三原子及以上	**3**	**3**	**0**	**6**	**3*kT***
非刚性双原子分子	**3**	**2**	**2**	**7**	**7*kT*/2**
非刚性三原子分子	**3**	**3**	**6**	**12**	**6*kT***

4）平均碰撞频率

$$\bar{Z}=\sqrt{2}\pi d^{2}\bar{v}n$$

平均自由程

$$\bar{\lambda}=\frac{\bar{v}}{\bar{z}}=\frac{1}{\sqrt{2}\pi d^{2}n}$$

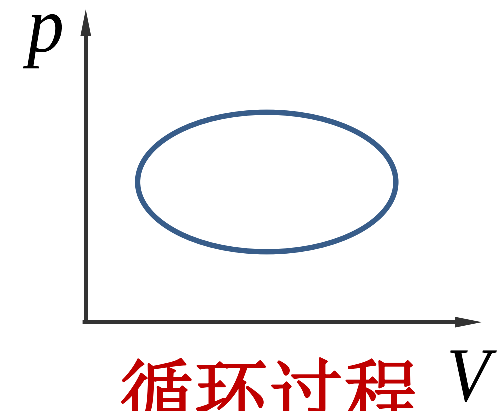
热力学小结

(1) 热力学第一定律 $\mathrm{d}Q=\mathrm{d}E+\mathrm{d}W=\mathrm{d}E+p\mathrm{d}V$

过程	特征	过程方程	W	ΔE	Q	C_m
等体	$\mathrm{d}V=0$	$pT^{-1}=C$	0	$\nu C_{V,m}\Delta T$	ΔE	$\frac{i}{2}R$
等压	$\mathrm{d}p=0$	$VT^{-1}=C$	$p\Delta V$ $\nu R\Delta T$	$\nu C_{V,m}\Delta T$	$\nu C_{p,m}\Delta T$	$\frac{i+2}{2}R$
等温	$\mathrm{d}T=0$	$pV=C$	$\nu RT\ln\frac{V_2}{V_1}$	0	W	∞
绝热	$\mathrm{d}Q=0$	$pV^{\gamma}=C$ $V^{\gamma-1}T=C'$ $p^{\gamma-1}T^{-\gamma}=C''$	$-\nu C_{V,\mathrm{m}}\Delta T$ $\frac{p_1V_1-p_2V_2}{\gamma-1}$	$\nu C_{V,m}\Delta T$	0	0

(2) 循环过程

热机效率： $\eta=\dfrac{W}{Q_1}=\dfrac{Q_1-Q_2}{Q_1}=1-\dfrac{Q_2}{Q_1}$

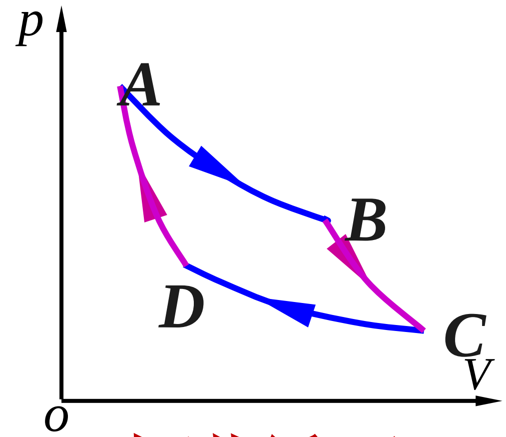


循环过程

制冷系数： $e=\dfrac{Q_2}{|W|}=\dfrac{Q_2}{Q_1-Q_2}$

卡诺热机的效率： $\eta=1-\dfrac{T_2}{T_1}<1$

卡诺制冷机的制冷系数： $e=\dfrac{T_2}{T_1-T_2}$



卡诺循环

卡诺定理 $\eta=\dfrac{Q_1-Q_2}{Q_1}\le\dfrac{T_1-T_2}{T_1}\begin{cases}<（不可逆机）\\=（可逆机）\end{cases}$

(3) 热力学第二定律　两种表述

孤立系统自发过程：　非平衡态 → 平衡态

$\boxed{\Delta S \geq 0}$

宏观：不可逆过程，熵增加

微观：无序度增大

热力学概率增大

(4) 熵变的计算

a. 可逆过程：　$S_B - S_A = \int_A^B \frac{\mathrm{d}Q}{T}$

b. 不可逆过程：　$S_B - S_A > \int_A^B \frac{\mathrm{d}Q}{T}$

设计一个连接初末态的可逆过程，沿此可逆过程积分计算熵变。

c. 玻尔兹曼关系式　$S = k \ln W$

1. 室内打开空调后，温度从初始时的37° C下降到27° C，假设降温过程中室内压强不变，则降温后室内分子数相比于初始时的分子数，最接近于以下的

A、 增加了**3.3%**

B、 减少了**3.3%**

C、 增加了**27%**

D、 减少了**27%**

$$p = nkT$$

[A]

2. 处于平衡态时，一瓶氦气和一瓶氮气的压强相同，分子平均平动动能也相同，则两者

A. 密度相同，温度也相同，但分子数密度不同

B. 分子数密度相同，温度相同，但密度不同

C. 密度、分子数密度和温度都相同

D. 密度、分子数密度和温度都不同

[B]

$$p=\frac{1}{3}nm\overline{v^2}=\frac{2}{3}n\bar{\varepsilon}_{\mathrm{k}} \qquad \bar{\varepsilon}_{\mathrm{k}}=\frac{3}{2}kT$$

3. 容积为**40.0 L(**升**)**的瓶子以速率 $v=200$ m/s 匀速运动，瓶子中充有质量为**1 mol**的氦气。设瓶子突然停止，且气体的全部定向运动动能都变为气体分子热运动的动能，瓶子与外界没有热量交换，

(1)求热平衡后氦气的温度升高多少？

(2)气体的压强增加了多少？

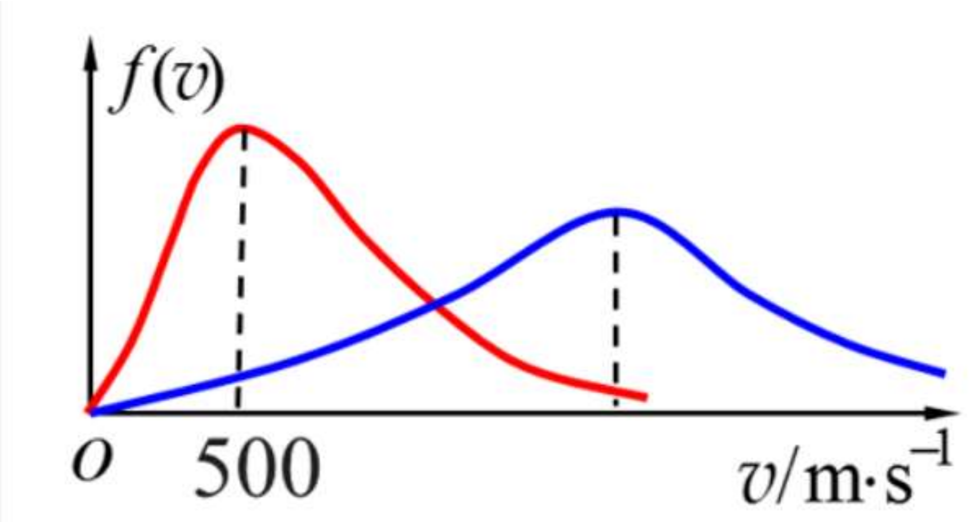
(3)气体的内能增加了多少？

$$(M_{He}=4\ \text{g/mol},\ R=8.31\ \text{J/mol/K};\ k=1.38\times10^{-23}\ \text{J/K})$$

$$\Delta E=\frac{1}{2}mv^2=80\ \text{J}=\nu\frac{i}{2}R\Delta T=\frac{3}{2}R\Delta T\Rightarrow\Delta T=6.4\ \text{K}$$

$$\Delta p=nk\Delta T=\frac{\nu}{V}R\Delta T=1.33\times10^{3}\ \text{Pa}$$

4. 如图，是氧气和氦气(氧气 32克/摩尔、氦气 4克/摩尔)在同一温度下的速率分布曲线， 则氦气的最概然速率为



A、 500 m/s

B、 1.0×10^3 m/s

C、 1.4×10^3 m/s

D、 2.0×10^3 m/s

[C]

5. 金属导体中的电子，在金属内部作物规则运动，与容器中的气体分子很类似。设金属中共有N个自由电子，其中电子的最大速率为v_m，电子速率在v～v+dv之间的概率为

$$\frac{\mathrm{d}N}{N}=\begin{cases} Av\mathrm{d}v & 0\le v\le v_m \\ 0 & v>v_m \end{cases}$$

式中A为常数。则该电子气电子的平均速率为

(A) $\dfrac{A}{3}v_m^3$ ；　　(B) $\dfrac{A}{4}v_m^4$ ；

(C) v_m ；　　(D) $\dfrac{A}{3}v_m^2$.

[A]

$$\bar{v}=\int_0^{v_m} v\frac{\mathrm{d}N}{N}=\int_0^{v_m} Av^2\mathrm{d}v=A{v_m}^3/3$$

6. **已知$f(v)$为麦克斯韦速率分布函数，v_p为分子的最概然速率，则速率在**0～ v_p 的分子的平均速率表达式为

(A) $\bar{v}=\int_0^{\infty} vf(v)\mathrm{d}v$

(B) $\bar{v}=\int_0^{v_p} vf(v)\mathrm{d}v$

(C) $\bar{v}=\dfrac{\int_0^{v_p} vf(v)\mathrm{d}v}{\int_0^{v_p} f(v)\mathrm{d}v}$

(D) $\sqrt{\dfrac{8kT}{\pi m}}$

[C]

7.一定量的理想气体贮于某一容器中，温度为T，气体分子的质量为m，根据理想气体分子模型和统计假设，速度在x方向分量的方均根值为

A. $\sqrt{3kT/m}$

B. $\sqrt{kT/m}$

C. $\frac{1}{3}\sqrt{3kT/m}$

D. 0

$$\overline{v_x^2} = \frac{1}{3}\overline{v^2} = \frac{1}{3}\frac{3kT}{m}$$

[B]

8. 假定在热力学温度为T的氧气分子仍然可以看作刚性双原子分子，且当热力学温度提高一倍，氧分子全部离解为氧原子，则这些氧原子的平均速率是原来温度为T时氧分子平均速率的

(A) 4 倍； (B) 2 倍；

(C) $\sqrt{2}$ 倍； (D) $\dfrac{1}{\sqrt{2}}$ 倍.

[B]

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}, \quad T' = 2T, \quad m' = \frac{m}{2}$$

$$\bar{v}' = 2\bar{v}$$

压强变为原来的 **4倍**

9. 一刚性容器，内部装有一定量理想气体，温度为T0时， 气体分子压强为p_0，平均速率为v_0，分子平均碰撞次数为Z_0，平均自由程为λ_0，当气体温度升高为$2T_0$时，气体分子的压强p、平均速率v、平均平均碰撞次数Z和平均自由程λ分别为

[C]

A. $p=2p_0, v=2v_0, Z=2Z_0, \lambda=2\lambda_0$

B. $p=\sqrt{2}p_0, v=\sqrt{2}v_0, Z=\sqrt{2}Z_0, \lambda=\sqrt{2}\lambda_0$

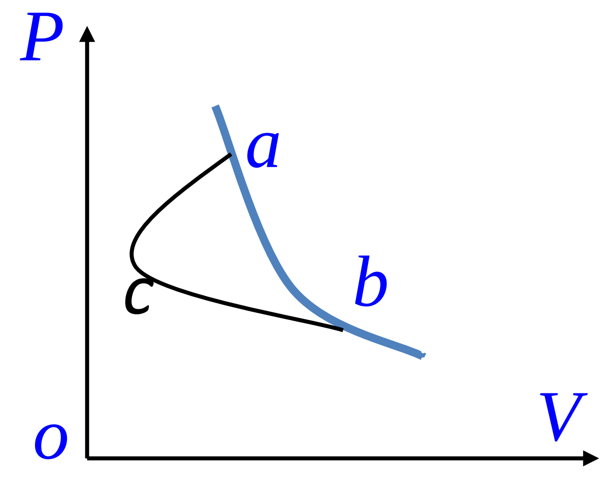
C. $p=2p_0, v=\sqrt{2}v_0, Z=\sqrt{2}Z_0, \lambda=\lambda_0$

D. $p=2p_0, v=2v_0, Z=2Z_0, \lambda=\sqrt{2}\lambda_0$

$$\bar{Z} = \sqrt{2}\pi d^2 \bar{v} n$$

$$p = nkT \qquad \overline{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \qquad \bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}$$

10. $b \to c \to a$准静态过程，a、b两点在同一条绝热线上，该系统在$b \to c \to a$过程



（A）只吸热，不放热

（B）只放热，不吸热

（C）有的阶段吸热，有的阶段放热，净吸热为正

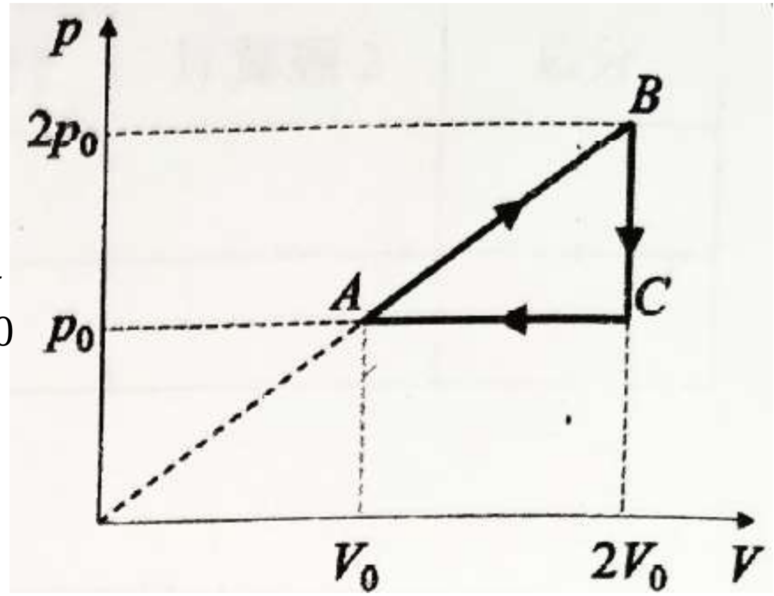
（D）有的阶段吸热，有的阶段放热，净吸热为负

abca构成正循环，净吸热为正

其中ab绝热，bca有吸热有放热

[C]

补充1. 如图所示，一定量（刚性）双原子分子理想气体经历的循环过程由直线过程AB、等体过程BC和等压过程CA构成的。求：(1)理想气体在AB过程中内能的该变量ΔE、对外界做的功W和从外界吸收的热量Q；(2)在一个循环中理想气体对外界所做的功；(3)循环的效率；(4)AB过程的摩尔热容



$$(1)\, i=5,$$

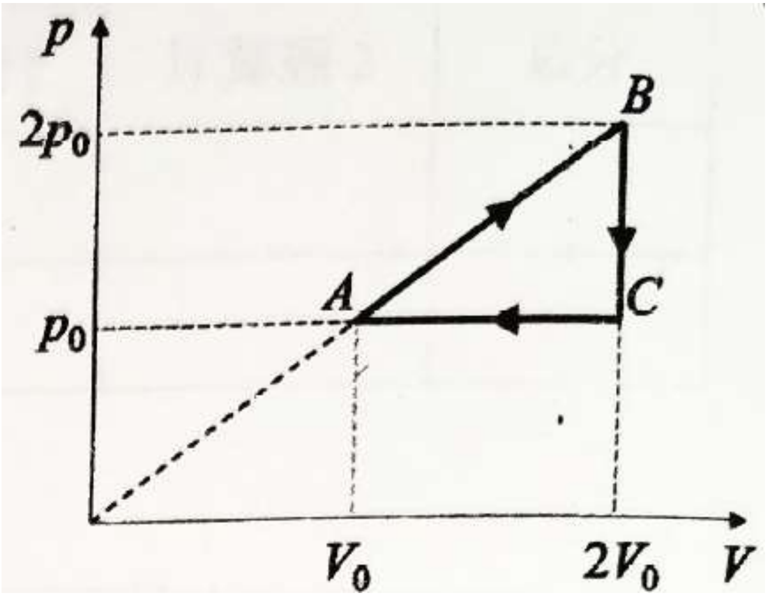
$$\Delta E_{AB}=\nu\frac{i}{2}R\Delta T=\frac{i}{2}\Delta(pV)=\frac{15}{2}p_0V_0$$

$$W_{AB}=\int_A^B p\mathrm{d}V=\frac{3p_0V_0}{2}$$

$$Q_{AB}=\Delta E+W=9p_0V_0$$

$$(2)\ W=\frac{1}{2}p_0V_0$$

$$(3)\ \eta=\frac{W}{Q_1}=\frac{W}{Q_{AB}}=5.6\%$$



(4)AB过程方程 $p=\frac{p_0}{V_0}V$,

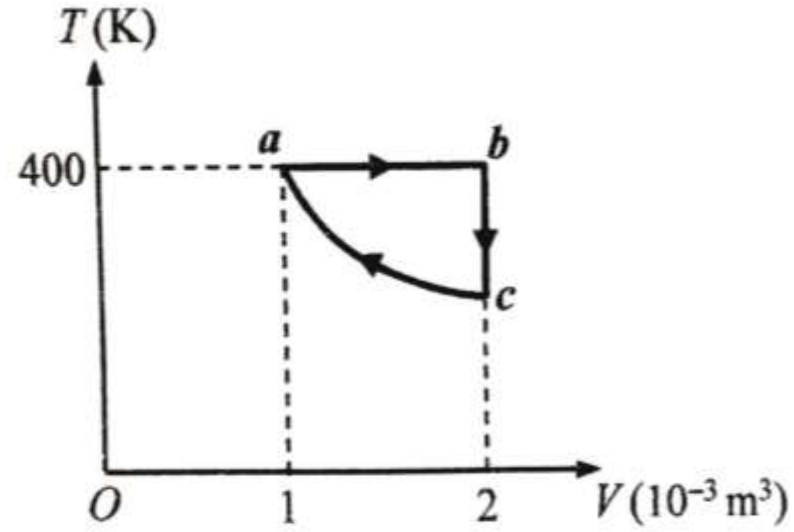
$$p\mathrm{d}V=V\mathrm{d}p\Rightarrow p\mathrm{d}V=\frac{1}{2}\nu R\mathrm{d}T$$

$$\mathrm{d}Q_{AB}=\mathrm{d}E+p\mathrm{d}V=\nu\frac{i}{2}R\mathrm{d}T+\frac{1}{2}\nu R\mathrm{d}T=\nu\frac{i+1}{2}R\mathrm{d}T$$

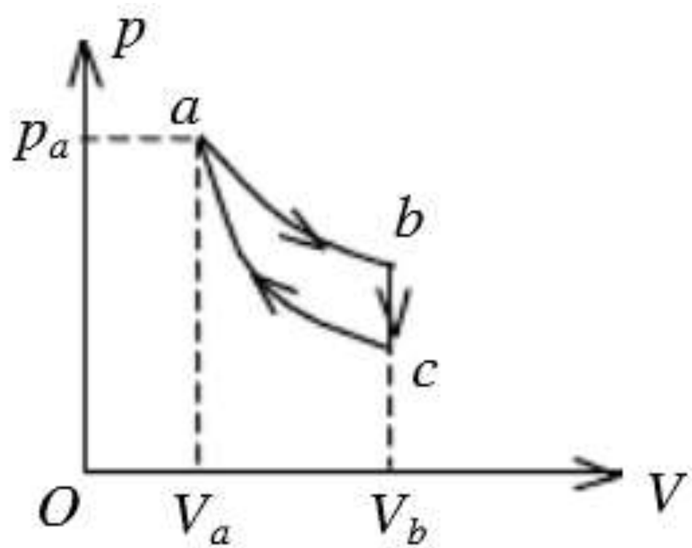
$$C_m=\frac{i+1}{2}R=3R=25\ \mathrm{J/mol/K}$$

或 $C_m=\frac{Q}{v\Delta T}=\frac{QR}{\Delta(pV)}=3R$

补充2. **1mol刚性双原子分子理想气体，其循环过程的T-V曲线如图。已知ca为绝热过程，求：(1)c点的热力学温度；(2)经过一个循环，系统对外界所作的净功；(3)工作在该循环下热机的效率。**



解：pV图如图



(1) $i=5, \gamma=7/5$

$$\frac{T_c}{T_a}=\left(\frac{V_a}{V_c}\right)^{\gamma-1}=\left(\frac{1}{2}\right)^{2/5}$$

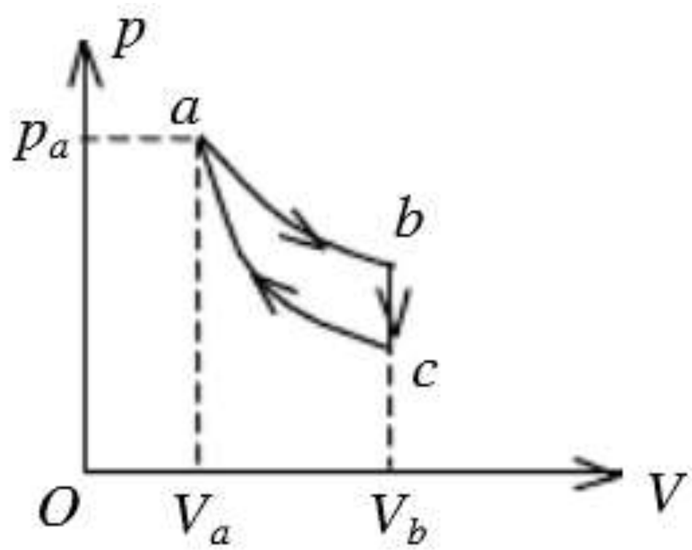
$$T_c=(1/2)^{2/5}T_a=303.14\text{K}$$

(2) $$W_{ab}=\nu RT\ln\frac{V_b}{V_a}=\nu RT\ln 2=2304\,J$$

$$W_{bc}=0$$

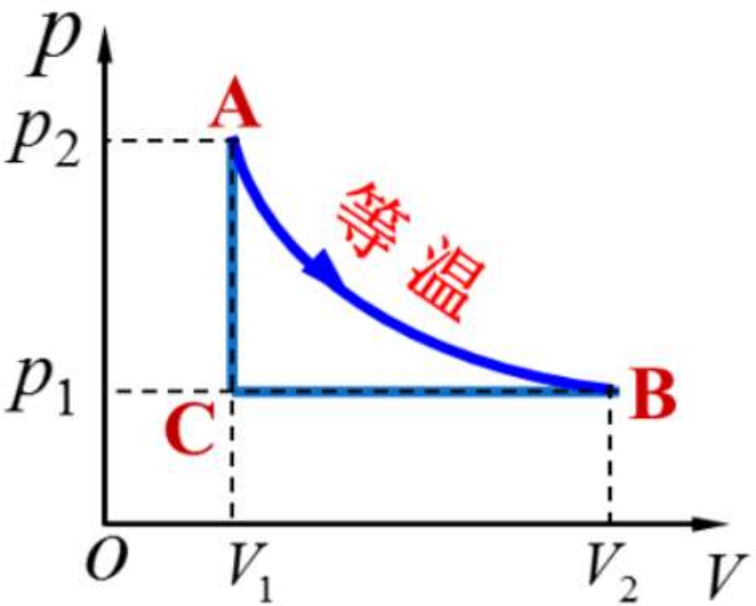
$$W_{ca}=\frac{p_aV_a-p_cV_c}{1-\gamma}=-\nu\frac{i}{2}R(T_a-T_c)=-2012\,J$$

$$W=292\text{ J}$$



(3) $$\eta=\frac{W}{Q_{ab}}=\frac{W}{W_{ab}}=12.7\%$$

13. 如图所示为一以氧气为工质的循环。$p_2 = 4\text{atm}$，$p_1 = 1\text{atm}$，$V_1 = 1\times10^{-3}\text{m}^3$。其中 AB 是等温过程，1atm=1.013× 10^5Pa，则这个循环对外作的净功（与下面的值最接近的）是（）



A、 258J

B、 412J

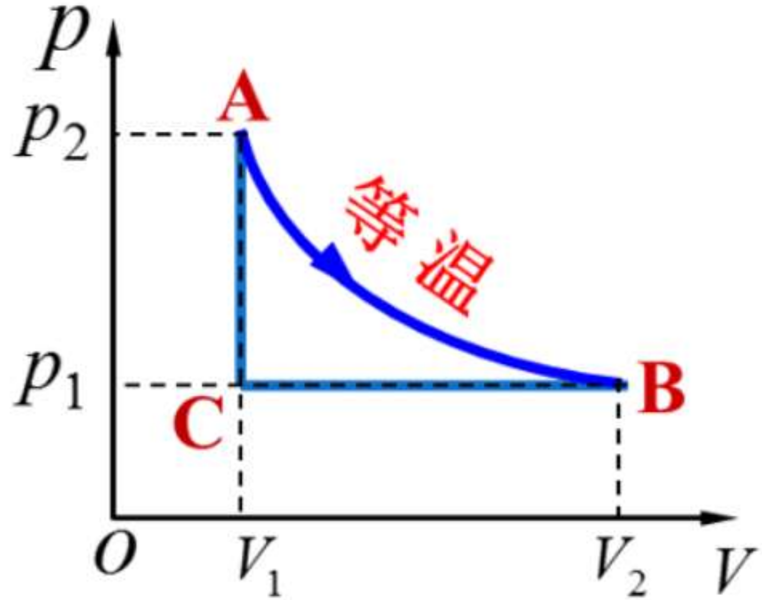
C、 562J

D、 866J

$$W = p_2V_1\ln\frac{V_2}{V_1} - p_1(V_2 - V_1) = p_1V_1(4\ln 4 - 3)$$

[A]

14. 如图所示为一以氧气为工质的循环。$p_2 = 4\text{atm}, p_1 = 1\text{atm}, V_1 = 1\times 10^{-3}\text{m}^3$。其中 AB 是等温过程，1atm=1.013× 10^5Pa，则此循环的效率（与下面的值最接近的）为（）



A、 15.2%

B、 17.8%

C、 19.5%

D、 25.3%

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{W}{Q_{AB} + Q_{CA}} = \frac{p_1 V_1 (4\ln 4 - 3)}{p_1 V_1 4\ln 4 + 2.5\times 3 p_1 V_1}$$

[C]

15. 在夏季，一空调以 2000J/s 的速度将室内热量排到室外，已知室内温度为 27℃，室外为 37℃，假设该空调的制冷机是卡诺制冷机，则该空调所需的最小功率（与下面的值最接近的）为（）

A、 66.7 W

B、 233 W

C、 63.5 W

D、 741 W

$$e=\frac{Q_2}{W}=\frac{2000}{P}\le\frac{T_2}{T_1-T_2}=\frac{300}{10}$$

[A]

13-6 根据热力学第二定律（　）。

(A) 自然界中的一切自发过程都是不可逆的；

(B) 不可逆过程是不能向相反方向进行的过程；

(C) 热量可以从高温物体传到低温物体，但不能从低温物体传到高温物体；

(D) 任何过程总是沿着熵增加的方向进行.

(A)

17. 根据热力学第二定律，有以下说法：

(1) 不能从单一热源吸热全部用来做功，而不向外放出热量。

(2) 热量可以从高温物体传到低温物体，但不能从低温物体传到高温物体。

(3) 热机效率不可能达到100%。

(4) 制冷机的效率不可能达到无穷大。

(5) 功可以全部转换为热，但热不能全部转换为功。

(6) 自然界中自发进行的宏观过程都是不可逆的。

以上说法正确的是

A、（1）（2）（5）

B、（2）（4）（5）

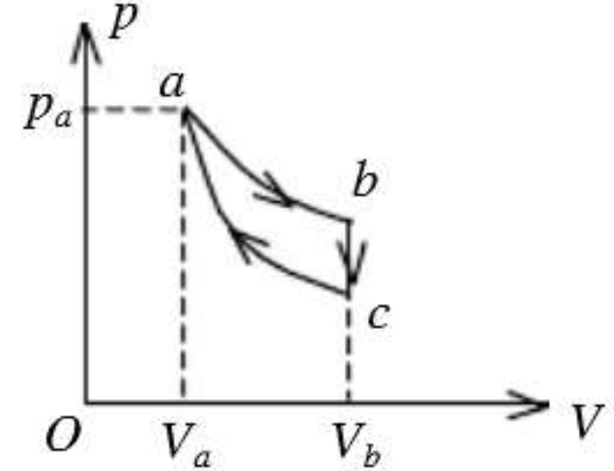
C、（2）（3）（5）

D、（3）（4）（6）

[D]

13-38 气缸内有0.1mol的氧气，（视为刚性分子的理想气体），作如图所示的循环过程，其中ab为等温过程，bc为等体过程，ca为绝热过程．已知$V_b = 3V_a$，求：(1) 该循环的效率?

(2) 从状态b到状态c，氧气的熵变ΔS．



解： **(1)** ab，吸热 $Q_{ab} = \nu RT\ln\dfrac{V_b}{V_a} = \nu RT\ln 3$

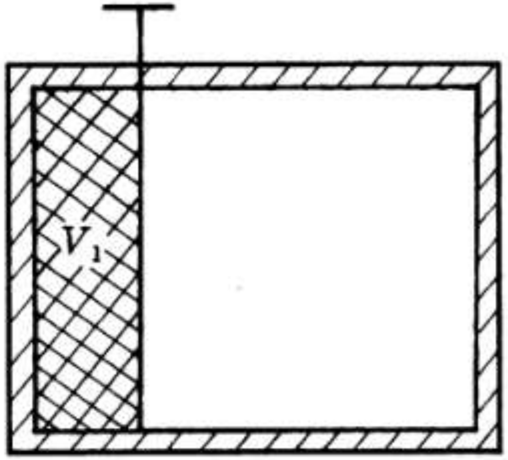
bc，放热 $\left|Q_{bc}\right| = \nu C_{V,m}\left(T_b - T_c\right)$

ca，绝热 $V_c^{\gamma-1}T_c = V_a^{\gamma-1}T_a$

$$\frac{T_c}{T_a} = \left(\frac{V_a}{V_c}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{1}{3}\right)^{2/5} \qquad \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{\nu C_{V,m}\left(1-(1/3)^{2/5}\right)T}{\nu RT\ln 3} = 19.1\%$$

(2) $\Delta S = \int_b^c \dfrac{dQ}{T} = \nu C_{V,m}\ln\dfrac{T_c}{T_b}$ $\qquad \Delta S = \int_b^a \dfrac{dQ}{T} + \int_a^c \dfrac{dQ}{T} = \nu R\ln\dfrac{V_a}{V_b} = -0.91\mathrm{J/K}$

13-40 有一体积为$2.0\times10^{-2}m^3$的绝热容器，用一隔板将其分为两部分，如图所示。开始时在左边(体积$V_1=5.0\times10^{-3}\ m^3$)一侧充有1mol理想气体，右边一侧为真空。现打开隔板让气体自由膨胀而充满整个容器，求熵变。

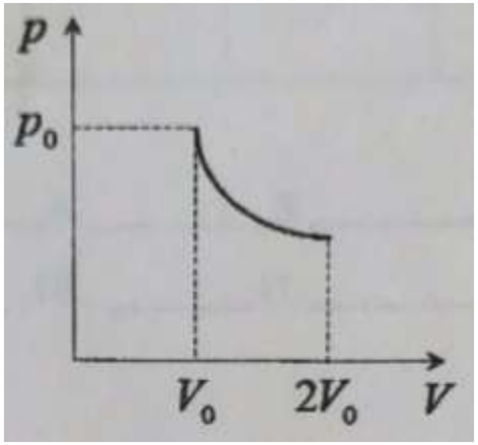


解： 理想气体绝热自由膨胀过程，气体内能不变，温度不变。

假设一可逆等温膨胀过程连接初、末态

$$\Delta S=\int_1^2\frac{dQ}{T}=\int_{V_1}^{V_2}\nu R\frac{dV}{V}=\nu R\ln\frac{V_2}{V_1}=11.52\ \mathrm{J/K}$$

补充3. 一定量的单原子分子的理想气体经历准静态过程 $pV^2=$ 常数，体积变为原来的两倍。已知 p_0 和 V_0，求（1）整个过程中，气体对外界做的功；（2）整个过程中，气体内能的改变量；（3）该过程的摩尔热容；（4）整个过程中，1mol这种气体的熵变。



解：(1)

$$W=\int_{V_0}^{2V_0} p\,dV=\int_{V_0}^{2V_0}\frac{p_0V_0^2}{V^2}dV=\frac{p_0V_0}{2}$$

(2)

$$i=3, C_{V,m}=\frac{3}{2}R$$

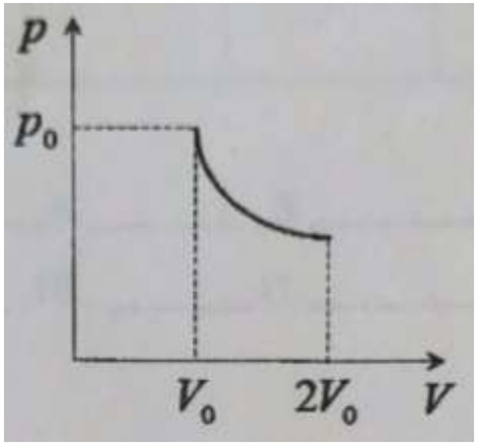
$$p_2=\frac{p_0V_0^2}{(2V_0)^2}=\frac{p_0}{4}$$

$$\Delta E=vC_{V,m}\Delta T=\frac{3}{2}\Delta(pV)=\frac{3}{2}\left(\frac{p_0}{4}2V_0-p_0V_0\right)=-\frac{3}{4}p_0V_0$$

(3) $$pV^2 = C \Longrightarrow VT = C'$$

$$\Longrightarrow \frac{dV}{V} = -\frac{dT}{T}$$

$$\Longrightarrow pdV = \frac{C}{V^2}dV = -\frac{C}{V}\frac{dT}{T} = -\nu RdT$$



$$\mathrm{d}Q = \mathrm{d}E + p\mathrm{d}V = \frac{3}{2}\nu R\mathrm{d}T - \nu R\mathrm{d}T = \frac{1}{2}\nu R\mathrm{d}T$$

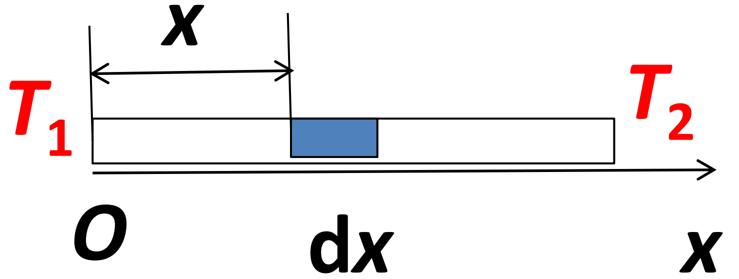
$$C_m = \frac{\mathrm{d}Q}{\nu \mathrm{d}T} = \frac{1}{2}R$$

或 $$Q = \Delta E + W = -\frac{1}{4}p_0V_0 = \nu C_m \Delta T = -\nu C_m \frac{T_0}{2} = -\frac{C_m p_0 V_0}{2R}$$

(4) $$\Delta S = \int \frac{\mathrm{d}Q}{T} = \frac{1}{2}R\int\frac{\mathrm{d}T}{T} = \frac{1}{2}R\ln\frac{T_2}{T_0} = \frac{1}{2}R\ln\frac{V_0}{2V_0} = -\frac{1}{2}R\ln 2$$

或 $$\Delta S = \int\frac{\mathrm{d}E + pdV}{T} = \nu C_{V,m}\ln\frac{T_2}{T_0} + \nu R\ln\frac{V_2}{V_0} = -\frac{1}{2}R\ln 2 = -2.88\ \mathrm{J/K}$$

习题13-41 一均匀细杆长L，单位长度的热容为C_l, 开始时沿细杆方向温度由低到高分布，一端为T_1，一端为T_2 ($>T_1$)。在热传导作用下，最后温度均为为$(T_1+T_2)/2$，求该过程细杆的熵变。



解：杆上任一小段dx的熵变

$$dS_x=\int\frac{dQ}{T}=\int_{T_1+\frac{T_2-T_1}{L}x}^{\frac{T_1+T_2}{2}}\frac{C_l\,dx\,dT}{T}$$

$$=C_l\,dx\,[\ln\frac{T_1+T_2}{2}-\ln(T_1+\frac{T_2-T_1}{L}x)]$$

整个杆的熵变

$$\Delta S=\int dS_x=C_l\int_0^L[\ln\frac{T_1+T_2}{2}-\ln(T_1+\frac{T_2-T_1}{L}x)]\,dx$$

$$=C_lL(\ln\frac{T_1+T_2}{2}-\frac{T_2\ln T_2-T_1\ln T_1}{T_2-T_1}+1)$$

21. 一定量理想气体向真空作绝热自由膨胀，体积由V_1增至V_2，在此过程中，气体的

A、 内能不变，熵不变

B、 内能增加，熵增加

C、 内能减少，熵减少

D、 内能不变，熵增加

[D]

22. **1mol某单原子分子理想气体，初始时的体积为V，温度为T，经历一热力学过程后，体积变为2V，温度变为2T，已知R=8.31 J/(mol.K)，则气体在这一过程中的熵变最接近于以下的__________J/K。**

A、 **8.6**

B、 **10.2**

C、 **14.4**

D、 **16.5**

[C]

$$\Delta S=\int\frac{\mathrm{d}E+p\mathrm{d}V}{T}=\upsilon C_{V,m}\ln\frac{T_2}{T_0}+\upsilon R\ln\frac{V_2}{V_0}=\frac{5}{2}R\ln 2=14.4\ \mathrm{J/K}$$